

# El Vórtice Polar Sur de Venus, caótico y permanente

I. Garate-Lopez, R. Hueso, A. Sánchez-Lavega  
 Euskal Herriko Unibertsitatea / Universidad del País Vasco, Bilbao.  
 (itziar\_garate@ehu.es / Fax: 00 34 94 601 4178)



## Resumen

Los vórtices polares son comunes en las atmósferas de planetas rápidamente rotantes. En la Tierra y en Marte sus características están ligadas a la interacción con la superficie y su existencia está unida al ciclo de insolación estacional. Venus es un planeta lentamente rotante, pero tiene vórtices atmosféricos en ambos polos en los extremos de una atmósfera superrotante [1]. A partir del estudio de los movimientos de estructuras nubosas en dos niveles de altura, usando imágenes del instrumento VIRTIS a bordo de la nave Venus Express, mostramos que el vórtice polar sur es una estructura permanente y dinámicamente caótica. El centro de rotación del vórtice en ambos niveles (a  $\sim 42$  km y  $\sim 64$  km por encima de la superficie) raramente coincide y ambos centros deambulan erráticamente en dirección alrededor del polo con velocidades de hasta  $16 \text{ m s}^{-1}$ . La morfología de las nubes y los parches de vorticidad no están correlacionados y cambian constantemente. En el nivel superior las líneas de corriente muestran una circulación cerrada en la mitad de los casos, pero hay casos de clara convergencia y divergencia de aire que implican velocidades verticales de hasta  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ . Al contrario que en los vórtices terrestres, el vórtice polar sur de Venus es una estructura longeva e inestable debido a las fuertes cizallas vertical y meridional del viento en la nube superior y a la inestabilidad estática vertical en las nubes media e inferior, y que se mantiene retenida en latitudes polares debido a la presencia a su alrededor de un collar frío que confina el vórtice ciclónico.

Órbita	Fecha	Pares de imágenes	$\Delta T$ [min]	1.74 $\mu\text{m}$	3.80 $\mu\text{m}$	5.10 $\mu\text{m}$
38	28 / 05 / 2006	4	60	689	–	596
244	20 / 12 / 2006	2	120	–	101	–
251	27 / 12 / 2006	1	120	–	–	93
275	20 / 01 / 2007	1	90	193	166	–
276	21 / 01 / 2007	1	90	242	437	–
310	24 / 02 / 2007	1	120	339	–	332
311	25 / 02 / 2007	1	120	279	162	–
312	26 / 02 / 2007	1	120	253	119	–
313	27 / 02 / 2007	1	60	246	135	–
314	28 / 02 / 2007	1	60	187	83	–
315	01 / 03 / 2007	1	60	151	72	–
316	02 / 03 / 2007	1	60	151	71	–
347	02 / 04 / 2007	1	60	393	94	–
352	07 / 04 / 2007	5	60	930	667	–
354	09 / 04 / 2007	1	60	218	94	–
355	10 / 04 / 2007	1	60	122	126	–
388	13 / 05 / 2007	1	60	196	95	–
390	15 / 05 / 2007	1	60	148	98	–
392	17 / 05 / 2007	1	60	169	104	–
394	19 / 05 / 2007	1	60	140	100	–
396	21 / 05 / 2007	1	60	156	63	–
398	23 / 05 / 2007	1	60	124	99	–
474	07 / 08 / 2007	6	60	775	–	–
475	08 / 08 / 2007	6	60	–	–	1000
620	31 / 12 / 2007	1	60	736	–	–
<b>NÚMERO TOTAL DE TRAZADORES</b>				<b>7080</b>	<b>3139</b>	<b>2021</b>

Tabla 1. Imágenes infrarrojas de VIRTIS-M empleadas para la medición del viento.

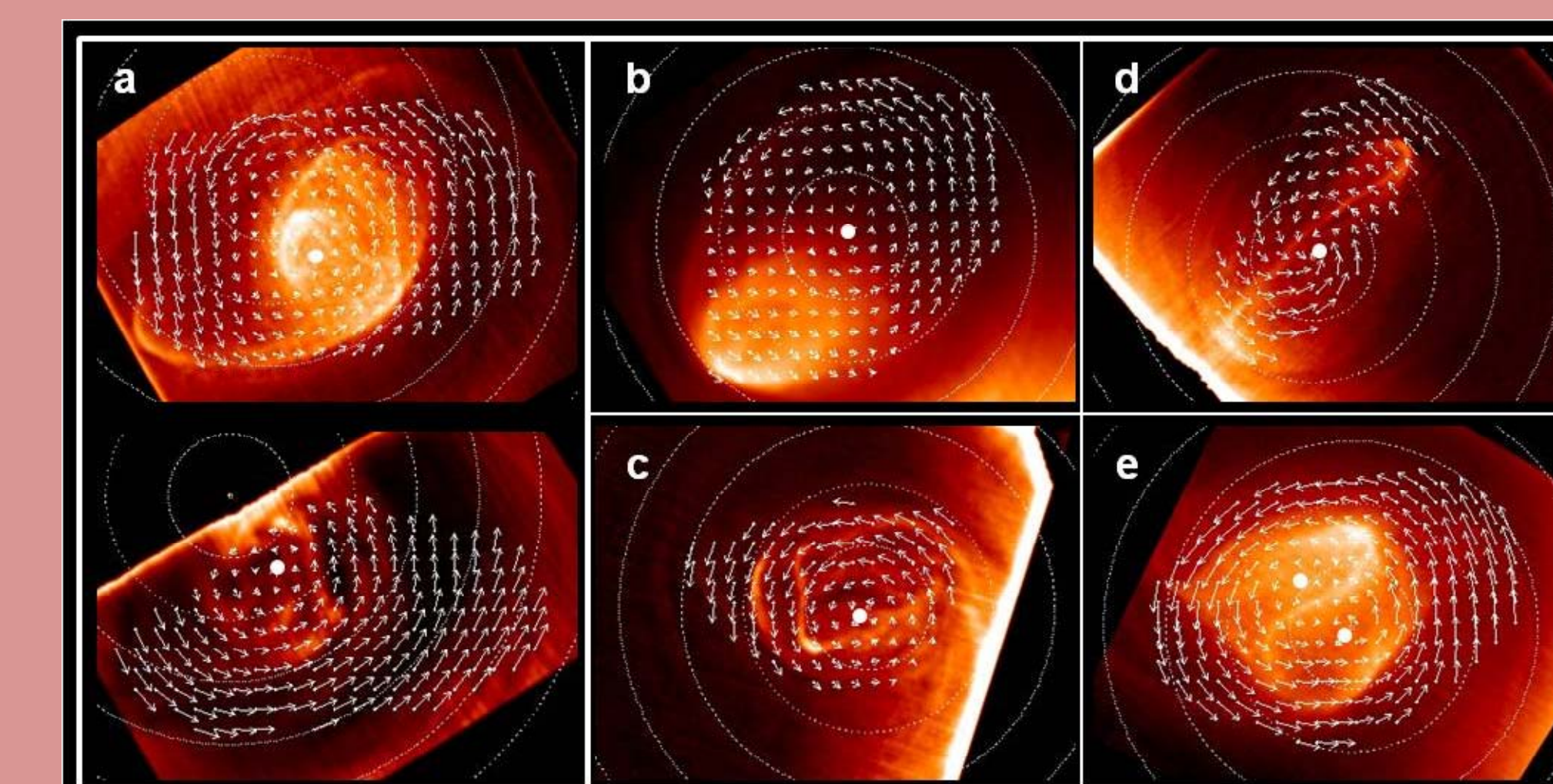
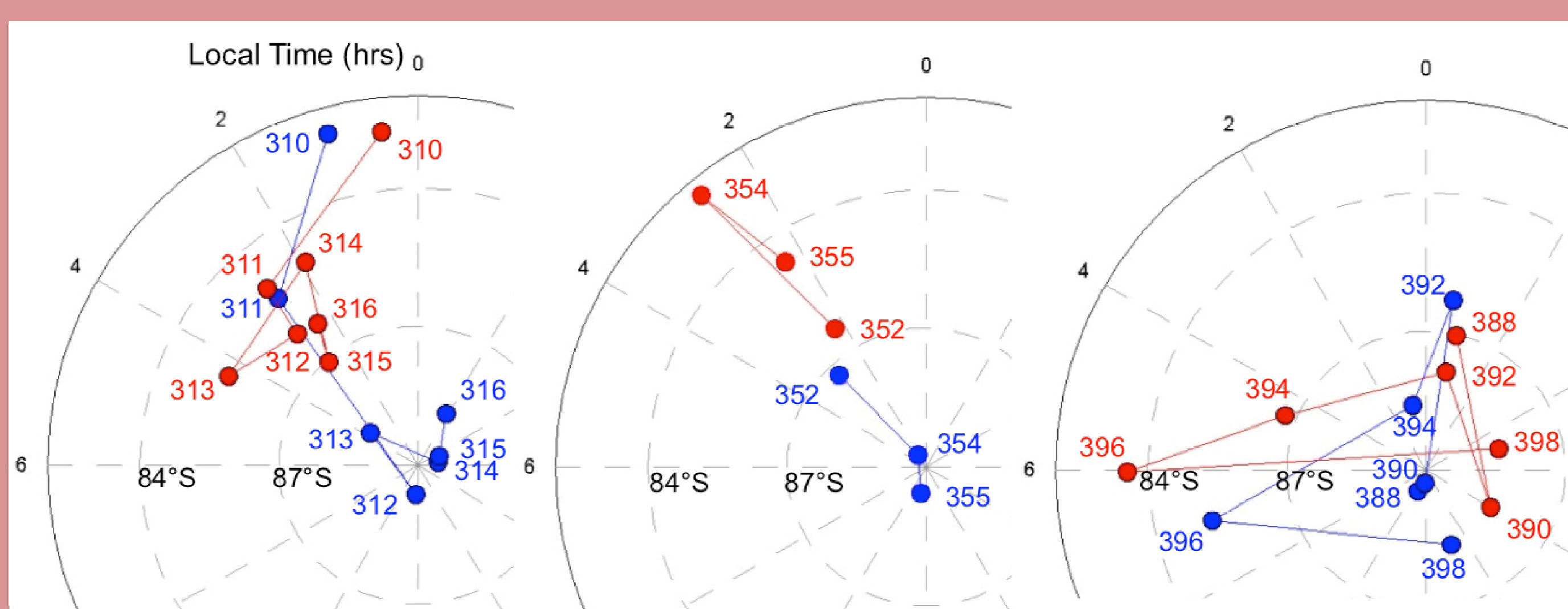


Figura 1: Proyecciones polares de la morfología y medidas de viento del vórtice para las órbitas 310 (a), 251 (b), 355 (c), 394 (d) y 475 (e). Las líneas de puntos muestran círculos de latitud espaciados cada 5 grados. La figura inferior del panel (a) muestra la nube inferior, el resto de figuras son de la nube superior. El punto blanco presenta el centro de rotación obtenido a partir del campo de vientos.

Figura 2: Mapas de vorticidad relativa local (código de colores, en unidades  $\text{s}^{-1}$ ) y líneas de corriente (líneas continuas) para los mismos casos que en la fig.1. Las líneas a trazos muestran los círculos de latitud cada 5 grados. El punto blanco indica el centro de rotación y el punto granate el centro morfológico. La mayoría de los mapas de vorticidad se parecen al panel (b), sin estructuras destacables.

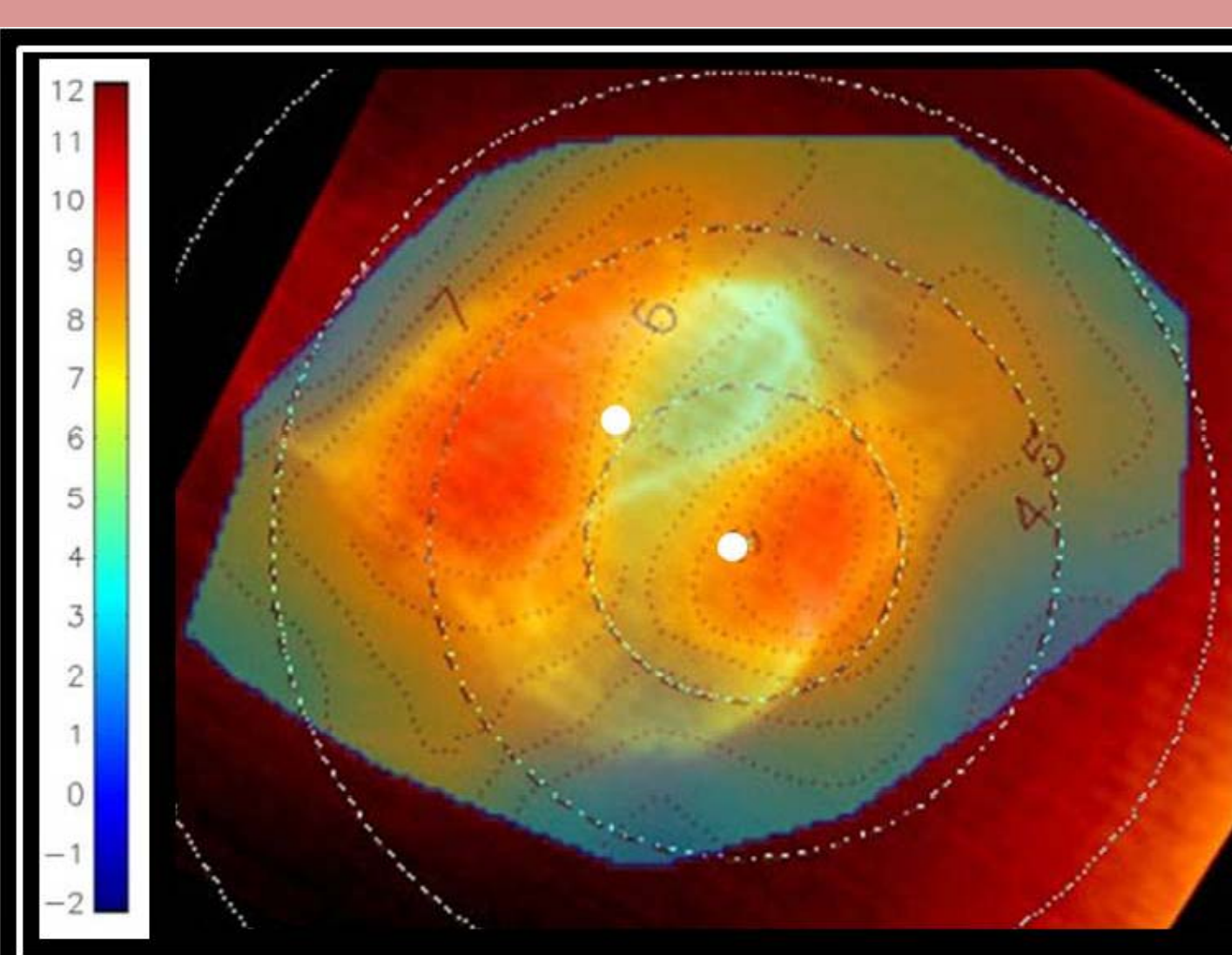
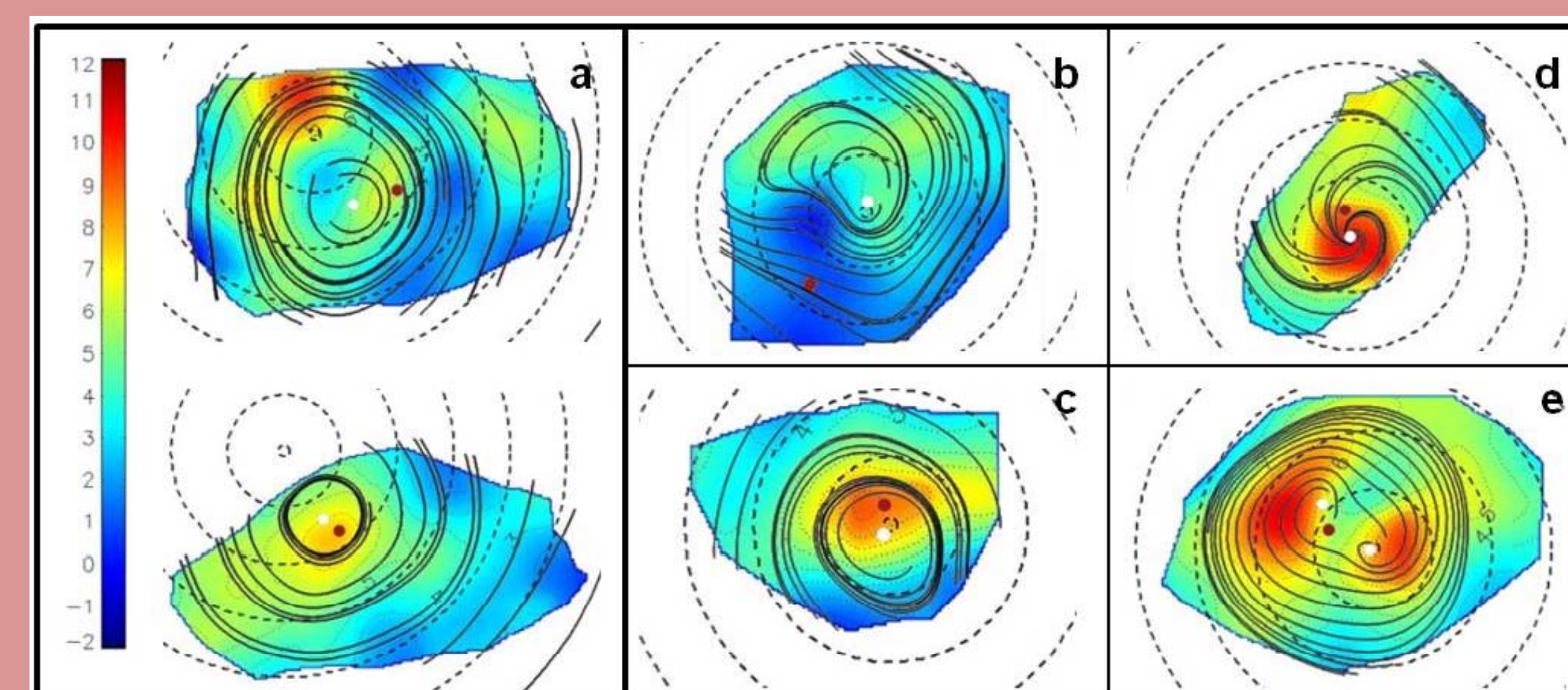
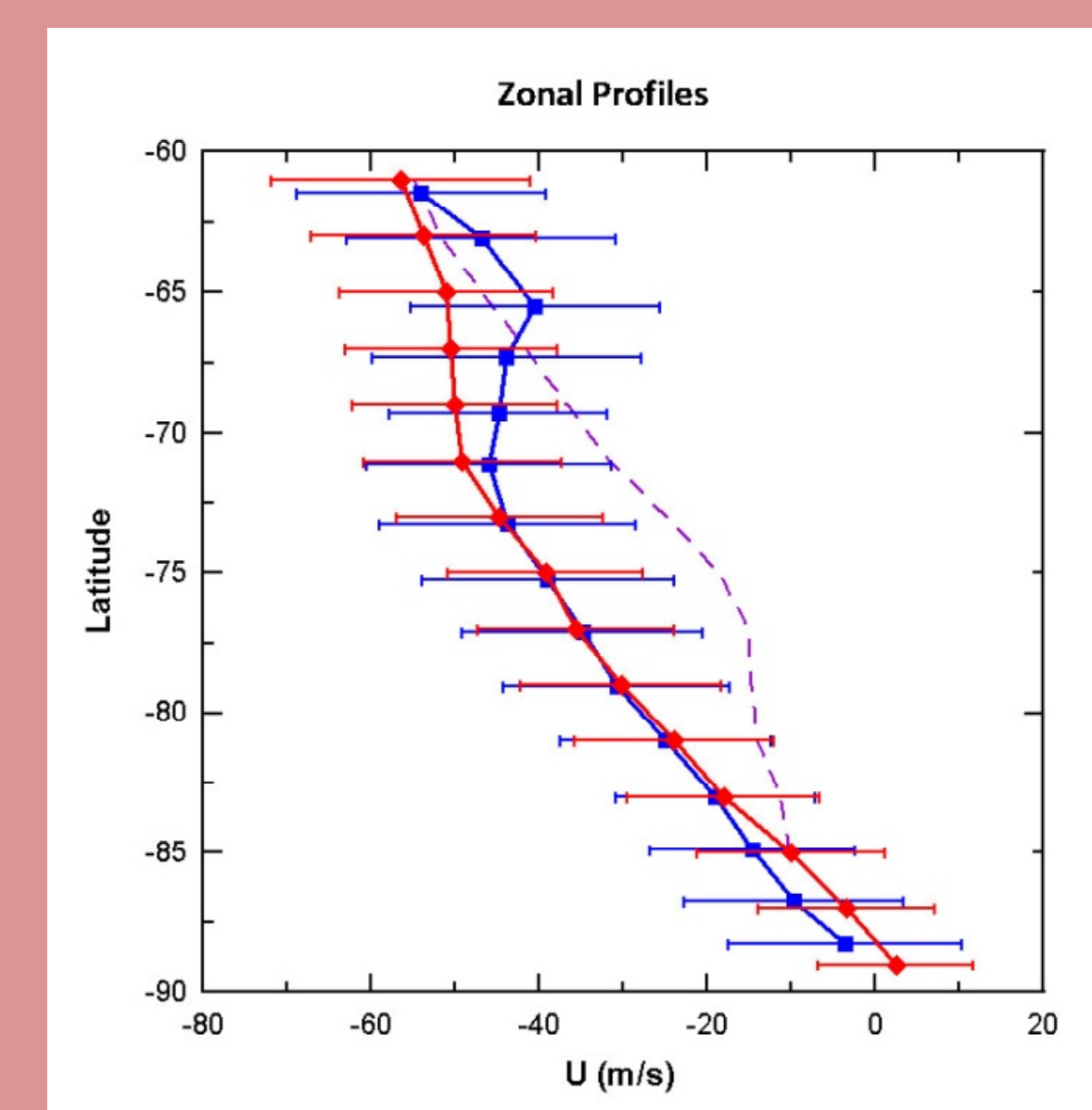


Figura 3: Superposición del mapa de vorticidad (código de colores, en unidades  $\text{s}^{-1}$ ) y la morfología de la nube superior para la órbita 475. Los círculos de latitud se muestran cada 5 grados. Los contornos punteados representan isolíneas de vorticidad. Las estructuras de alta emisión térmica aparecen generalmente rodeando los parches de vorticidad ciclónica máxima y pueden estar centrados en regiones de vorticidad casi nula.

Figura 4: Movimiento deambulante del centro del vórtice para las nubes inferior (rojo) y superior (azul) en términos de latitud y hora local en geometría polar. Los números corresponden a órbitas particulares. En esta figura se han representado sólo tres secuencias cortas de órbitas, con la posición del centro del vórtice y la trayectoria recorrida.

Figura 5: Perfil meridional de la componente zonal del viento para la nube inferior en  $1.74 \mu\text{m}$  (rojo) y la superior en  $3.8/5.1 \mu\text{m}$  (azul), comparadas con el perfil obtenido para la base de la nube superior en  $980\text{nm}$  (morado) en un análisis previo [2].



## Conclusiones

En un 35% de las órbitas el vórtice presenta una forma dipolar, en un 25% es un óvalo alargado y en un 10% una estructura casi circular. El resto de observaciones muestran el vórtice como una estructura de transición entre estas configuraciones, con estructuras irregulares en algunos casos. La morfología del vórtice puede ser estable durante decenas de días (fue observado como un dipolo desde la inserción orbital hasta la órbita 38) [1] o puede cambiar en escalas de tiempo de tan sólo un día [3].

A partir de los perfiles meridionales del viento zonal obtenidos del seguimiento de nubes en imágenes de VIRTIS de la región polar en el UV (380 nm) y en 980 nm [2], obtenemos que, dentro de la incertidumbre de las medidas, la cizalla vertical del viento zonal en latitudes polares es de  $\sim 3 - 5 \text{ m s}^{-1} \text{ km}^{-1}$  para la nube superior (64 – 61 km). Sin embargo, hay poca cizalla vertical,  $\sim 0.08 \text{ m s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ , entre la nube superior ( $\sim 64$  km) e inferior ( $\sim 42$  km). Además, las medidas de temperatura usando el instrumento VeRa a bordo de VEX [4,5] muestran que existe una tropopausa bien definida en la región polar que tiene un pico de inversión a una altura de  $\sim 60$  km y una profundidad de inversión de  $\sim 16$  K. Por encima de la tropopausa la estabilidad estática es de  $S_T \sim -10 \text{ K km}^{-1}$ , pero cae hacia la nube inferior (por debajo de la tropopausa) donde  $S_T \sim -2 \text{ K km}^{-1}$ .

La imagen global que emerge sobre el vórtice polar de Venus es que por debajo de la tropopausa el vórtice es térmicamente inestable con la baja cizalla del viento favoreciendo el desarrollo del vórtice (entre las alturas 42 – 60 km). Por el contrario, en la capa de la nube superior (entre 60 y 65 km de altura) la atmósfera es térmicamente estable pero dinámicamente inestable debido a las fuertes cizallas vertical y meridional ( $\sim 0.02 \text{ m s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ ). Por consiguiente, consideramos que en la capa ocupada por la nube superior la inestabilidad asociada a la cizalla del viento determina la variable morfología de las nubes con un posible acoplamiento con la formación de ondas de gravedad frecuentemente observadas en las latitudes polares y causadas por la interacción con la alta estabilidad estática [6].

## Referencias

- [1] Piccioni, G. et al. South-polar features on Venus similar to those near the north pole. *Nature* **450**, 637-40 (2007).
- [2] Sánchez-Lavega, A. et al. Variable winds on Venus mapped in three dimensions. *Geophys. Res. Lett.* **35**, L13204, doi:10.1029/2008GL033817 (2008).
- [3] Luz, D. et al. Venus 's southern polar vortex reveals precessing circulation. *Science* **332**, 577-580 (2011).
- [4] Tellmann, S., Pätzold, M., Häusler, B., Bird, M.K. & Tyler, G.L. Structure of the Venus neutral atmosphere as observed by the radio science experiment VeRa on Venus Express. *J. Geophys. Res.* **114**, E00B36, doi:10.1029/2008JE003204 (2009).
- [5] Lee, Y.J. et al. Vertical structure of the Venus cloud top from the VeRa and VIRTIS observations onboard Venus Express. *Icarus* **217**, 599-609 (2012).
- [6] Peralta, J. et al. Characterization of mesoscale gravity waves in the upper and lower clouds of Venus from VEX-VIRTIS images. *J. Geophys. Res.* **113**, E00B18, doi:10.1029/2008JE003185 (2008).